

А.И. Аникеев, канд. техн. наук, А.С. Верещака, д-р техн. наук,
И.В. Кобицкой, канд. техн. наук, Н.Б. Кобицкая,
А.А. Козлов, К.В. Крючков, Москва, Россия

РАЗРАБОТКА НОВЫХ МАРОК ТВЕРДЫХ СПЛАВОВ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗАНИЕМ

В роботі розглянуті основні аспекти розробки ультрамелкодисперсних твердих сплавів, дані деякі рекомендації щодо їх застосування.

В работе рассмотрены основные аспекты разработки ультрамелкодисперсных твердых сплавов, даны некоторые рекомендации по их применению

In the present article the basic aspects of working out especially ultrafine-dispersed are considered and some recommendation about their application are made.

1. Введение

Твердые сплавы (ТС) являются основным инструментальным материалом, обеспечивающим высокопроизводительную обработку материалов. По данным работы [1] в странах Евросоюза до 55-60 % режущего инструмента, применяемого для обработки резанием различных конструкционных материалов, составляют твердосплавные инструменты, которыми при обработке различных материалов удаляется до 65 - 75% стружки. Последнее обусловлено тем, что скорость резания твердосплавных инструментов в 2-10 превышает соответствующий параметр для инструментов из быстрорежущей стали.

Твердые сплавы обладают рядом ценных свойств, основными из которых являются высокая твердость (HRA 82 – 92), сохраняемая при нагреве до 700 – 1000 °С, большое значение модуля упругости ($E=500-700$ ГПа) и предела прочности при сжатии ($\sigma_b = 6000$ МПа) (таблица 1).

Относительно невысокая прочность при изгибе ($\sigma_{изг}=1000-2500$ МПа) и ударная вязкость твердые сплавы не являются лимитирующими факторами, так как способны сохранять достаточно высокую твердость и сопротивляемость термопластическому деформированию при температурах резания. Благоприятное сочетание физико-механических и теплофизических свойств твердые сплавы обеспечивает инструменту высокую пластическую прочность и повышенную сопротивляемость изнашиванию.

Стандартные твердые сплавы состоят из карбидов (титана, вольфрама, тантала и др.) и связки (кобальт, никель, молибден и др.). Связка предназначена для закрепления и удержания зерен хрупких карбидов и придания сплаву определенных прочностных свойств. Поэтому с ростом содержания карбидов увеличивается твердость, теплостойкость и износостойкость, а с ростом содержания связки увеличивается вязкость и прочность сплава, что предо-

пределяет достаточно узкую область применения всей номенклатуры марок твердые сплавы предназначенных для обработки резанием. Большое влияние на режущие свойства твердые сплавы оказывает структура, размер зерен и количество в сплаве свободного и связанного углерода. Эти параметры сплава строго контролируют технологически, обеспечивая стабильный уровень заданных режущих свойств.

Таблица 1 – Обобщенные значения свойств основных групп инструментальных материалов

| Материал | ρ , г/см ³ | HRA, не менее | HV , М | $\sigma_{и}$ | $\sigma_{сж}$ | $KCU \cdot 10^5$ Дж/м ² , | Тепло- стой- кость, °C | λ , Вт/(м· К) | $\alpha \cdot 10^5$, 1/°C | $E \cdot 10^3$, МПа |
|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|---------------------|--------------|---------------|---|---------------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------|
| | | | | МПа | | | | | | |
| Быстроре- жущая сталь | 7,9-8,75 | До 80 | — | До 4000 | До 4400 | До 6,5 | До 715 | 16,75— 25,12 | 9,0— 12,0 | 21 |
| Твердые сплавы | 9,5-15,3 | 87— 92 | 17000 - 24000 | До 1660 | До 5900 | 24,51— 58,8 | 800— 1000 | 16,75— 87,92 | 3,0— 7,5 | 500 |
| БВТС (кер- меты) | 4,4-4,7 | До 95,3 | 19000 | До 980 | До 5600 | До 19,6 | 1400 | 25,12— 83,70 | 7,2— 7,5 | 350 |
| Режущая керамика (оксидная) | 3,6-4,0 | До 94 | 3000 0 | До 950 Д | До 3000 | 4,9- 11,76 | 2000 | 4,2 —21,0 | 6,3— 9,0 | 400 |
| Кубиче- ский нит- | 3,45 | — | 60000 -80000 | До 1000 | До 6500 | — | 1500 | — | — | 720 |
| Алмазы синтетиче- ские | 3,48- 3,56 | — | 100000 | До 300 | До 2000 | — | 800 | 138,2 — 146,5 | 0,9— 1,9 | 900 |

В настоящее время основные тенденции совершенствования твердых сплавов осуществляют по следующим направлениям: • разработка мелко- и ультрадисперсных сплавов, обладающих более сбалансированным сочетанием твердости и вязкости по сравнению со сплавами нормальной зернистости;

• создание сплавов со связками повышенной жаропрочности и сопротивляемостью вязкому разрушению при повышенных термомеханических напряжениях (например, на основе Со легированного Re и Ru); • разработка экономнолегированных безвольфрамовых твердых сплавов с никельмолибденовыми связками (керметы), не содержащих дорогостоящих и дефицитных элементов (W, Co, Ta); • создание композиционных твердых сплавов со сбалансированным сочетанием твердость/вязкость и расширенной областью применения, содержащих твердосплавный субстрат (монолитный или слоистый) и функциональное покрытие.

Марки твердых сплавов нового поколения предназначены для решения совокупности технологических задач, связанных с: • широким применением сухого высокоскоростного резания;

• обработкой материалов повышенной твердости и жаропрочности (труднообрабатываемые материалы); • изготовлением высокоэффективных цельнотвердосплавных сложнопрофильных режущих инструментов (сверла, концевые фрезы, метчики и т.д.).

2. Задачи, методика и результаты исследований

В ФГУП «ВНИИТС» в содружестве с рядом технических университетов России последние десятилетия проведены научные исследования, направленные на разработку нового поколения высокоэффективных марок твердых сплавов. В частности разработана гамма твердых сплавов с мелкой, особо-мелкой - и ультрадисперсной структурой для резания различных материалов – сложнелегированных сталей повышенной твердости жаропрочности и коррозионной стойкости, труднообрабатываемых сплавов на $Ti - Ni$ - основах, дерева [2-3].

Для изготовления твердых сплавов с ультрадисперсной структурой (размер средней фракции зерна менее 0,5 мкм) разработана специальная технология, сдерживающая рост размеров зерна при спекании исходных компонентов порошковой смеси W , WC , Co заданного гранометрического состава и зернистости [3].

При разработке технологии производства ультрадисперсных твердых сплавов особое внимание уделяли однородности распределения легирующих элементов типа Cr_3C_2 , VC , TaC в порошковых смесях и способу их введения в сплавы группы $WC-Co$, так как эти факторы оказывают сильное влияние на микроструктуру и физико-механические свойства спеченных твердых сплавов. Установлено, что наибольшее влияние на повышение однородности распределения легирующих элементов в порошковой смеси оказывают Cr и V , которые, кроме того, выполняют роль ингибиторов коагуляции зерен на стадиях спекания и приготовления шихты для карбидизации вольфрама [3].

На основе рассмотренной технологии разработаны сплавы группы « BX », у которых до 70 % зерен WC имеют средние размеры менее 0,5 мкм, что соответствует классификации «особомелкодисперсные». Особенно следует отметить, что твердые сплавы группы BX не содержат в своем составе дорогостоящих и дефицитных карбидов тантала и ниобия, что резко снижает себестоимость их производства и конечную цену продукции, в то время как в мировой практике производства особомелкодисперсных твердых сплавов широко используют карбиды вольфрама легированные танталом (Ta) и ниобием (Nb), заметно увеличивающие стоимость конечной продукции.

Особомелкодисперсные сплавы BX обладают: • высокой твердостью и износостойкостью при одновременно повышенной прочности при изгибе от-

носителем стандартных марок твердых сплавов группы WC-Co (BK) с одинаковым содержанием кобальта; • способностью при оптимальных условиях заточки инструмента (пластин или цельнотвердосплавного инструмента) обеспечивать радиус округления режущей кромки ρ в пределах 2-5 мкм т.е. (соизмеримо с радиусом ρ для быстрорежущего инструмента); • кристаллохимическим строением, способствующим получению более высокого качества инструмента при нанесении функциональных покрытий (высокая прочность адгезии, супермелкодисперсная структура покрытия с высокой износостойкостью и т.д.).

В настоящее время разработана следующая гамма марок твердых сплавов группы ВХ - *BK3BX, BK6BX, BK8BX, BK10BX и BK15BX*, что практически полностью перекрывает области применения стандартных марок сплавов группы BK (*WC-Co*, области применения K01-K40; M05 – M40, S10-S30, H10-H30 стандарт ISO 513:2004-07).

Анализ данных микроструктурных исследований (рис.1) позволил установить, что сплавы группы ВХ обладают зерновой микроструктурой соответствующей классификации «ультрамелкодисперсная» с размерами средней зерновой фракции в пределах 0,4 - 0,5 мкм.

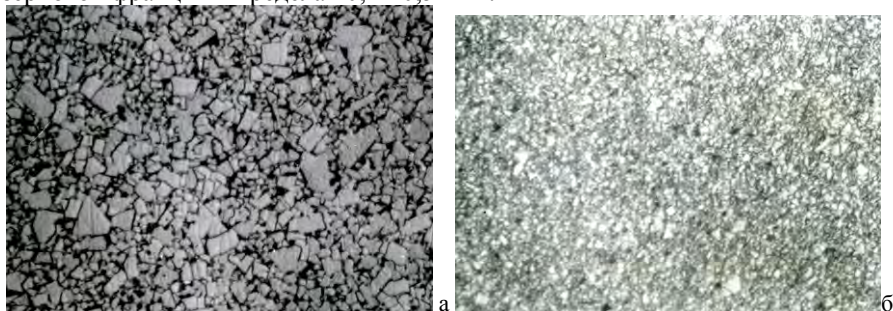


Рисунок 1 – Микроструктура стандартного сплава BK8 (а) и особомелкозернистого сплава BK8BX (б) (x1000).

Основные физико-механические свойства сплава BK8BX представлены в табл. 2.

Разработанные марки сплавов ВХ имеют повышенные физико-механические, а также возможность создавать при изготовлении инструмента из сплавов ВХ очень «острую» режущую кромку с достаточной прочностью режущего клина инструмента.

Инструменты из сплавов ВХ с радиусом округления режущей кромки 3-5 мкм соизмеримого с радиусом округления кромки для инструмента из быстрорежущей стали позволяет не только обеспечить значительное повышение стойкости режущего инструмента (времени наработки на отказ) по сравнению с твердыми сплавами стандартной зернистости для технологиче-

ских операций чистовой и получистовой непрерывной и прерывистой обработки при резании материалов повышенной твердости (чугуны) и прочности (труднообрабатываемые жаропрочные хромоникелевые и титановые сплавы), но и использовать сплавы *ВХ* в областях применения несвойственных для стандартного твердосплавного инструмента. К таким областям можно отнести суперчистовые операции резания материалов с низкими технологическими свойствами по обрабатываемости со снятием микронных срезов, а также деревообработку.

Таблица 2 – Основные физико-механические свойства сплавов ВК8 и ВК8ВХ

| Марка сплава | Плотность, $\rho \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$ | Коэффициентная сила, H | Твердость, HRA | Прочность при изгибе $\sigma_{из}$, МПа |
|--------------|--|--------------------------|------------------|--|
| ВК8 | 14,4 – 14,8 | 200 | 87,5 | 1666 - 1700 |
| ВК8ВХ | 14,62 | 227 | 91,5 | 1998,2 |

Сплавы ВК8ВХ (область применения К30, ISO 513) рекомендуется использовать для оснащения деревообрабатывающего инструмента, предназначенного для обработки деревостружечных плит с пленочным покрытием, широко применяемых в строительной индустрии или при производстве мебели. В частности, широкое применение получили дисковые пилы оснащенных пластинами из ВК8ВХ, напаивание которых на стальную заготовку осуществляют специальным припоем на основе меди при температурах 800 °С.

Таблица 3 – Рекомендуемые режимы резания для пил, предназначенных для раскроя деревостружечных плит.

| Марка сплава | Обрабатываемый материал | Диаметр пилы, мм | Частота вращения пилы, об/мин | Скорость резания, м/мин |
|--------------|--|------------------|-------------------------------|-------------------------|
| ВК6ВХ | Деревостружечная плита, облицованная пластиком | 380 - 560 | 2500 | 20 |
| ВК8ВХ | Деревостружечная плита, с двухсторонним декарирующим покрытием синтетической пленкой | 560 | 2875 | 30 |
| | Деревостружечная плита, без покрытия | 560 | 2875 | 30 - 35 |

Сплавы ВК3ВХ (область применения К01-К05, ISO 513) рекомендуется использовать для обработки деревостружечных плит, облицованных пласти-

ком, что обеспечивает высокое качество «реза» без выкрашиваний, задигов и других дефектов, наиболее характерных деревообработке.

В табл. 3 представлены рекомендуемые режимы обработки деревостружечных плит дисковыми пилами, оснащенными пластинами из ВК6ВХ и ВК8ВХ.

Исследования стойкости инструмента (времени наработки на отказ), оснащенного твердосплавными пластинами ВХ на режимах резания, показанных в таблице 3, позволяют отметить следующее. Эксплуатационная стойкость прорезных дисковых фрез, оснащенных пластинами из сплава ВК8ВХ, при обработке коллекторов электрических машин в 2,7 раза превысила стойкость фрез из сплава ВК8 и более чем в 40 раз - стойкость прорезных фрез из быстрорежущей стали *Р18*.

Пилы, оснащенные пластинами ВК8ВХ при раскрое древесных плит с двухсторонним декорированием синтетической пленкой обеспечивали до перезаточки обработку не менее 1000 погонных метров при высоком качестве обработанных изделий. Перезаточка изношенной режущей части пилы мелкозернистыми алмазными кругами 50% концентрации на бакелитовой связке Б2 полностью исключает появление прижогов на пластинах и обеспечивает полноценное восстановление режущих свойств инструмента на уровне исходных фрез, что обеспечивает дальнейшую высокоэффективную эксплуатацию инструмента.

Инструменты, оснащенные сменными многогранными пластинами (СМП) из сплавов группы ВХ с нанодисперсными многослойно-композиционными покрытиями также рекомендуются для обработки резанием труднообрабатываемых титановых и жаропрочных никелевых сплавов, используемых в авиационном и атомном машиностроительных производствах [4-6]. В частности инструменты, оснащенные СМП из сплавов ВК6ВХ, ВК8ВХ, ВК10ВХ с нанодисперсными многослойно-композиционными покрытиями «Циркон-2», «Тихромалюминит 1 и 2» обеспечивали повышение стойкости инструмента до 2,5 раз по сравнению со стойкостью инструмента с СМП из стандартных сплавов ВК6, ВК6ОМ, ВК8, ВК10ХОМ с покрытием при обработке титановых сплавов (точение фрезерование), а до 1,5-2,0 раз при резании наиболее труднообрабатываемых никелевых и хромоникелевых сплавов авиационного двигателестроения. Следует отметить, что при проведении стойкостных испытаний использовали также инструменты, оснащенные СМП с покрытием рекомендованных лучшими мировыми производителями твердосплавного инструмента для резания труднообрабатываемых материалов, результаты которых показали высокую эффективность инструмента, оснащенного СМП из сплавов ВХ с покрытием.

Заключение

Разработаны особомелкозернистые сплавы группы *WC-Co BX* для обработки различных материалов резанием, отличающиеся от стандартных марок сплавов *WC-Co* повышенными физико-механическими и эксплуатационными свойствами.

Сплавы группы *BX* имеют более сбалансированное соотношение между твердостью (износостойкостью) и вязкостью (прочностью при изгибе), особомелкодисперсную зерновую структуру (средняя фракция зерна составляет 0,3-0,5 мкм), высокую однородность зерновой структуры и стабильность основных свойств, что позволяет прогнозировать их широкое применение для резания труднообрабатываемых материалов, чистовых и суперчистовых операций резания со снятием микронных стружек, а также для деревообработки взамен инструмента из быстрорежущих сталей и стандартных твердых сплавов.

Применение инструмента из сплавов *WC-Co BX* в операциях деревообработки позволяет не только снизить расходы на режущий инструмент, что обусловлено чрезвычайно высокой стойкостью инструмента из сплавов *BX* по сравнению со стандартными инструментами, но и заметно повысить качество обработки.

Сплавы *BK6BX*, *BK8BX*, *BK10BX* обеспечивают высокую эффективность обработки резанием труднообрабатываемых материалов авиационного двигателестроения не только по сравнению с рекомендованными сплавами группы *BK* (*Wc-TaC-Co*), но и сплавами ведущих производителей из технологически развитых стран.

Список использованных источников: 1. Верещака А.С. Некоторые тенденции совершенствования технологической производственной среды //СТИН. – 2005. - № 8. С.12-18. 2. Панов В.С. Технология и свойства спеченных твердых сплавов и изделий из них./ В.С. Панов, А.М. Чувилин, В.А. Фальковский. // М. – Изд. МИСиС, 2004 .С.240. 3.Кобицкой И.В. Исследования особомелкозернистых твердых сплавов группы *WC-Co*, легированных карбидами тугоплавких металлов (*Cr, V*) /И.В. Кобицкий, А.И. Аникеев, Н.В. Терновская, Л.И. Клячко // Цветные металлы. – 1998. - № 8. С. 58-60.4. Верещака А.С., Верещака А.А. Функциональные покрытия для режущего инструмента// Упрочняющие технологии и покрытия. М. № 6. – 2010. С.28-43. 5.Vetter J., Krug T., von der Heide V.. AlTiCrNO coatings for dry cutting deposited by reactive cathodic vacuum arc evaporation. Surface & Coatings Technology 174 –175 (2003) 615–619.(In English). [6] Cselle T. Nanostrukturierte Schichten in der Werkstoff. Platit AG. Werkzeugtagung 2002.(In German) 7. Metel A.S.; Grigoriev S.N.; Melnik Yu.A.; et al. Glow discharge with electrostatic confinement of electrons in a chamber bombarded by fast electrons // Plasma physics reports. 2011. Vol.37, № 7, pp. 628-637.

Поступила в редакцию 15.05.2012